

**POLÍTICA FISCAL EN EL MANEJO DE LOS  
RECURSOS HIDRÁULICOS: UN MODELO DE  
EQUILIBRIO GENERAL COMPUTABLE**

**Miguel Ángel Gutiérrez Andrade**  
*Universidad Autónoma Metropolitana*

**Francisco Venegas Martínez\***  
*Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey*

**Hector Manuel Bravo Pérez**  
*Centro de Investigación y Docencia Económicas, A. C.*

*Resumen:* Mediante un modelo de equilibrio general computable se examina el impacto de la política fiscal en la administración de los recursos hidráulicos. Asimismo, se llevan a cabo varios ejercicios de estática comparativa para evaluar los efectos de una política fiscal particular sobre el bienestar económico. Por último, se establece para el caso mexicano un conjunto de recomendaciones fiscales para hacer más eficiente la administración del agua en el proceso productivo.

*Abstract:* We examine the impact of fiscal policy in the management of water resources by using a computable general equilibrium model. Several comparative static exercises are carried out to assess the effects of a particular fiscal policy on economic welfare. Finally, we state a set of fiscal policy recommendations for the efficient management of water in the production process for the Mexican case.

*Clasificación JEL:* H3, D58, I3, Q25

*Palabras clave:* Política fiscal, modelo de equilibrio general computable, agua, bienestar

*Fecha de recepción:* 25 IX 2002

*Fecha de aceptación:* 22 XI 2004

---

\* Los autores agradecen los valiosos comentarios del Mtro. Roberto Ballinez, así como de los dictaminadores anónimos. fvenegas@itesm.mx

## 1. Introducción

El agua no debe ser vista únicamente como un bien o mercancía, o como un factor de la producción. Estos términos destacan sólo algunas de las diferentes aristas económicas del recurso, concretamente, las más relacionadas con la satisfacción inmediata de necesidades y con la actividad productiva. Por otro lado, el agua, como un factor de la producción, no es nada más una entidad física que una empresa adquiere, sino que viene acompañado de una lista de usos limitados. En otras palabras, los usos del agua en la producción dependen del marco institucional, el cual establece la lista de limitaciones y de usos socialmente aceptables.

Por lo anterior, un problema esencial en la economía del agua consiste en entender cómo se configura el marco institucional y establecer cuáles son los conceptos de costo y beneficio de uso del recurso que se van a adoptar en el análisis y, por lo tanto, cuáles son las reglas del juego que definen las acciones socialmente aceptables en dicho uso. De las reglas se desprenderá lo que se va a considerar como uso eficiente o ineficiente del recurso. Sin lugar a dudas, no se pueden entender los problemas económicos del agua sin el conocimiento del marco institucional. Así pues, la economía del agua trata sobre el uso eficiente y sostenible del recurso considerando el marco institucional vigente y buscando la conciliación de los intereses de los diferentes sectores relacionados con el mismo, tales como: generación de energía eléctrica, abastecimiento y distribución, potabilización, irrigación, drenaje, medio ambiente, etc.

Es importante reconocer que el agua tiene la capacidad de satisfacer un conjunto amplio de funciones económicas. Esta no sólo es esencial para la supervivencia biológica, sino una condición necesaria para el desarrollo sostenible de la economía. No es nada más un bien o un insumo, es un imperativo en el sostenimiento y continuidad de las sociedades. Ahora bien, en la medida en la que la multifuncionalidad del agua es ignorada las diferencias entre los intereses de los distintos agentes se agudizan, pues cuando el agua se deteriora pierde su carácter de recurso y ya no puede cumplir las mismas funciones que realizaba anteriormente.

Es evidente que la economía del agua no debe limitarse a incrementar las entradas al sistema de usos y potenciar la gestión del recurso con infraestructura hidráulica, sino también a reducir o, en el mejor de los casos, a eliminar las pérdidas en cantidad y calidad, buscando la eficiencia de los usos y penalizando o desalentando, vía un esquema fiscal, el desperdicio del recurso. Al respecto, el desarrollo de esquemas fiscales que promuevan la eficiencia en el manejo del

recurso para impedir su agotamiento es un asunto económico central. En conclusión, la administración del agua, no sólo es un problema de carácter ingenieril o técnico sino, fundamentalmente, económico.

El trabajo pionero de Maass y Anderson (1986) analiza varios casos sobre el manejo del agua en muy diversos ámbitos sociales y económicos en los que la propiedad del agua es común. Por otro lado, Ostrom (1990) y (1992) hace una revisión de las distintas instituciones económicas diseñadas para el manejo común de los recursos naturales, entre particulares y gobierno, y encuentra varias características institucionales compartidas.

En la literatura económica no existe un estudio detallado sobre las características de las instituciones mexicanas encargadas del manejo del agua, debido, principalmente, a la heterogeneidad de la forma en la que ésta se obtiene. No es realista suponer, en el caso mexicano, que el gobierno abandone el control y el manejo del recurso. Sin embargo, puede plantearse la siguiente hipótesis: sin que el gobierno abandone la responsabilidad otorgada por mandato constitucional, de administrar el recurso, se puede modificar el derecho de propiedad del agua. Ante esta posibilidad hay varias preguntas:

1) ¿Cómo afecta al bienestar económico la aplicación de instrumentos de política fiscal en el manejo del agua? 2) ¿Qué esquema de propiedad es más conveniente para mejorar el bienestar económico cuando se aplica una política fiscal en el manejo del agua? y 3) ¿Qué esquema de propiedad hace más eficiente la política fiscal?

Para responder estas preguntas, el presente trabajo se organiza de la siguiente manera. De principio, se lleva a cabo, brevemente, una revisión de la literatura existente en torno al tema que nos ocupa. En la sección 2 se construye un modelo de equilibrio general para la evaluación de los instrumentos de política fiscal en el manejo eficiente del agua, en la 3 se introduce el comportamiento del gobierno, en la 4 se plantean las relaciones que definen el equilibrio, en la 5 se calibra el modelo, en la 6 se presentan y discuten los resultados, también se evalúan los cambios en el bienestar económico por la aplicación de impuestos o subsidios. En esta misma sección, se realiza el análisis del bienestar sobre los diversos escenarios económicos generados a partir de la combinación de las diferentes alternativas de propiedad y políticas fiscales, lo cual, evidentemente, afecta la evaluación final de los resultados. Por último, en la sección 7, se presentan las conclusiones, se mencionan algunas líneas de investigación futura y se establecen las ventajas y limitaciones del modelo.

Existen relativamente pocos trabajos sobre el análisis de las ventajas de un esquema de propiedad del agua sobre otro, es decir,

propiedad pública o privada. En el trabajo de Hardin (1968) se postula que los recursos naturales que se manejan en propiedad común, de manera inevitable, están condenados a la extinción. Sin embargo, existe evidencia empírica reciente y contundente en contra de la afirmación anterior, véanse, por ejemplo, los trabajos de Aguilera Klink (1992, 1994) y Weizman (1994).

En el caso del agua, pocos son los trabajos en los que se evalúa el desempeño de las instituciones dedicadas a su manejo. Entre los estudios más destacados encontramos el de Young, Daubert y Morel-Seytoux (1986), en el cual se desarrolla un modelo de simulación para evaluar, en términos hidrológicos, distintas alternativas institucionales. Asimismo, Maass y Anderson (1986) construyen un modelo de simulación para evaluar las instituciones encargadas del manejo del agua en ambientes áridos de distintos países. Diversos estudios sobre la administración del recurso pueden encontrarse en Ethridge, (1973), Stoecker, Seidmann y Lloyd (1985), Ulibarri, Willis y Seeley (1998), Darwish, Ethridge y Segarra (1995) y Malouf, Berg y Johnson (2000). En este trabajo, construimos un modelo de equilibrio general computable proponiendo, al mismo tiempo, un enfoque distinto al de Young, Daubert y Morel-Seytoux (1986) y Maass y Anderson (1986).

## 2. Construcción del modelo de equilibrio general computable

Las formas de obtención del agua (fluvial, subterránea, etc.), al igual que las formas de consumo (agua potable, irrigación, etc.) y ahorro (reciclamiento, reutilización, etc.) son muy heterogéneas, el modelo propuesto abstrae y, en ocasiones, simplifica hasta el límite estas posibilidades con el fin de obtener resultados analíticamente tratables. Así pues, se desarrolla un modelo estático y determinista con agentes representativos. El capital, el trabajo y el agua en bruto son considerados insumos para la función de producción. En este caso, cuando el agua es un factor de producción, se le llamará agua de primer uso o agua útil.

### 2.1. *Insumos y precios*

En esta subsección se describen los factores de la producción y sus precios. El conjunto de factores de producción en la economía se define como:

$$\mathcal{F} = \{\ell_j, k_j, sup_j, sub_j\},$$

donde  $\ell_j$  representa el trabajo necesario para producir el bien  $j$ ,  $j = 1, 2, \dots, 6$ ;  $k_j$  el capital;  $sup_j$  el agua de origen superficial y, por último,  $sub_j$  el agua de origen subterráneo.

El conjunto de bienes que se producen en la economía está determinado por:

$$\mathcal{G} = \{x_1, x_2, x_{3,j}, x_{4,j}, x_{5,j}, x_{6,j}\},$$

donde  $x_1$  es el bien de consumo del tipo 1;  $x_2$  el bien de consumo del tipo 2;  $x_{3,j}$  el agua residual para producir el bien 4 ( $j = 4$ );  $x_{4,j}$  el agua tratada para producir el bien 2 ( $j = 2$ );  $x_{5,j}$  el agua útil de origen superficial y  $x_{6,j}$  el agua útil de origen subterráneo para producir el bien 1, 2 ( $j = 1, 2$ ). De acuerdo con lo anterior, dentro de la economía existen bienes de consumo final ( $x_1, x_2$ ) y los que sirven de insumo en la producción de otros bienes ( $x_{3,j}, x_{4,j}, x_{5,j}, x_{6,j}$ ).

Por último, el conjunto de dotaciones es

$$\mathcal{W} = \{w_\ell, w_k, w_{sup}, w_{sub}\},$$

donde  $w_\ell$  es la dotación de trabajo existente en la economía,  $w_k$  la del capital,  $w_{sup}$  la dotación inicial de agua superficial y  $w_{sub}$  la dotación inicial de agua subterránea. Para el caso de las dotaciones de agua es necesario especificar que, la cantidad inicial de agua superficial que hay en la economía es igual a  $w_{sup} = sup_j + sup_s$ , donde  $sup_j$  es el agua superficial empleada por alguna empresa para producir agua superficial útil y  $sup_s$  es el agua superficial ahorrada. De la misma manera, el agua subterránea es igual a  $w_{sub} = sub_j + sub_s$ . Suponemos que existe pleno empleo en los mercados de factores y que los precios, tanto de los bienes como de los factores, están dados por  $p_j, j=1, 2, \dots, 6$ ;  $p_\ell, p_k, p_{sup}$  y  $p_{sub}$ .

Para que el agua pueda ser utilizada es necesario transformarla. Tal como se encuentra en sus fuentes originales no puede ser utilizada directamente en ningún proceso productivo y tiene que ser convertida en agua útil, este proceso puede ser tan complejo como la potabilización, o tan simple como el transporte.

Por otra parte, junto con la producción del bien de consumo 1 se produce agua residual, que es la diferencia entre el agua útil empleada en el proceso productivo y su uso consuntivo, es decir, el volumen que se incorpora definitivamente al bien. Vamos a suponer, también, que en esta economía existe una empresa que se encarga de limpiar el agua residual con una tecnología del tipo Leontief y que, al hacer esto, el agua recupera parcialmente sus características originales de calidad. Evidentemente, dicha empresa utiliza el agua residual como

insumo, entre otros factores, y produce un bien al que llamaremos agua tratada, la cual a su vez es un insumo que emplea otra empresa para producir el bien de consumo del tipo 2.

## 2.2. Comportamiento de los productores

En esta economía existen cinco tipos de productores, cada uno de los cuales es precio aceptante y tiene un comportamiento optimizador. Se supone que las distintas tecnologías presentan rendimientos constantes a escala y que la demanda condicionada, o derivada, de cada factor (insumo) se obtiene como solución del problema de minimización de costos. Las demandas condicionadas de factores se representarán con un asterisco. La cantidad total del bien producido se denotará mediante  $Y_j$ , mientras que las funciones de producción, que representan las tecnologías utilizadas, estarán definidas por  $f_j$ . Dichas funciones de producción son homogéneas de grado uno en los factores, con lo cual se asegura que las demandas condicionadas son funciones homogéneas de grado cero en los precios.

### 2.2.1. Problema de decisión del productor del bien de consumo del tipo 1

El problema de minimización de costos para la producción del bien de consumo del tipo 1 está dado por

$$\min_{\ell_1 \geq 0, k_1 \geq 0, x_{5,1} \geq 0, x_{6,1} \geq 0} p\ell_1 + p_k k_1 + p_5 x_{5,1} + p_6 x_{6,1} + \tau_3 m(x_{5,1} + x_{6,1}),$$

$$\text{s.a } Y_1 \leq f_1(\ell_1, k_1, x_{5,1}, x_{6,1}).$$

donde  $p_i > 0$ . Una parte del agua extraída es consumida y otra descargada a un cuerpo receptor. En esta economía, el agua descargada (residual) se considera un bien intermedio que sirve como insumo al productor de agua tratada. Nótese que el productor del bien de consumo 1 paga por el uso del agua como un insumo,  $p_5$  y  $p_6$ , más un gravamen,  $\tau_3$ , por la cantidad de agua agotada, es decir, la que ha perdido sus características originales de calidad.

Si se supone que la función de producción es del tipo Leontief:

$$Y_1 = \text{Min} \left\{ \frac{A_{i,1}}{\alpha_{i,1}}, \frac{V_1}{\nu_1} \right\},$$

donde  $A_{i,1}$  es el factor  $i$  para producir el bien 1,  $\alpha_{i,1}$  los requerimientos unitarios del factor  $i$  para producir el bien 1,  $V_1$  la cantidad de valor añadido necesario para producir una unidad del bien 1 y  $\nu_1$  el requerimiento unitario de valor añadido para producir una unidad del bien 1.<sup>1</sup> Por otra parte, la función que define el valor añadido corresponde a una función de producción CES:

$$V_1 = \frac{1}{\varphi_1} \left( \sum_{i=1}^4 \beta_{i,1} A_{i,1}^{-\rho_1} \right)^{-1/\rho_1},$$

donde  $\rho_1$  es el parámetro de sustitución,  $\varphi_1$  un coeficiente tecnológico y  $\beta_{i,1}$  un parámetro de requerimientos.<sup>2</sup>

Ahora bien, la solución del problema de optimización genera los siguientes resultados:

$$\ell_1^* = Y_1 \left[ \frac{(\nu_1 \varphi_1 / \alpha_{\ell_1})^{-\rho_1} - \beta_{\ell_1}}{(\beta_{k_1} / \alpha_{k_1}^{\rho_1}) + (\beta_{5,1} / \alpha_{5,1}^{\rho_1}) + (\beta_{6,1} / \alpha_{6,1}^{\rho_1})} \right]^{1/\rho_1},$$

por simetría obtenemos la demanda condicionada de  $k_1^*$ ,  $x_{5,1}^*$  y  $x_{6,1}^*$ . Dado que la tecnología es de tipo Leontief, podemos asegurar que la empresa, en principio, no desperdiciará ningún factor que tenga un precio positivo. En general, la empresa se encontrará en un punto en donde  $Y_1 = a\ell_1 = bk_1 = cx_{5,1} = dx_{6,1}$ , donde  $a, b, c, d$ , son proporciones formadas por los parámetros de sustitución de la tecnología. Por otra parte, para cada conjunto de precios y nivel de producción corresponderá una demanda condicionada de factores que minimice el costo de obtener  $Y_1$  unidades de producción:  $\{\ell_1^*, k_1^*, x_{5,1}^*, x_{6,1}^* \in \mathbb{R}_+^4 : Y_1 \leq f_1(\ell_1, k_1, x_{5,1}, x_{6,1})\}$ .

Una característica de la tecnología Leontief es que las demandas condicionadas de factores dependen positivamente sólo del nivel de producción, en este sentido, obsérvese que dichas demandas óptimas

<sup>1</sup> Este tipo de función de producción será igual para el caso de  $x_2, x_4, x_5$  y  $x_6$ .

<sup>2</sup> Trabajamos con una función de valor añadido del tipo CES anidada en una función de producción Leontief. De hecho, es posible anidar una función CES dentro de otra CES, siempre y cuando la determinación de las variables a estimar esté bien especificada. El sistema de ecuaciones que define nuestro conjunto de variables objetivo, producto del proceso de optimización inicial, tiene una solución única y explícita. Lo anterior, permite la estimación del modelo.

no están en función de los precios de los factores, como sucede en cualquier otro caso.<sup>3</sup>

Es importante destacar que si  $m$  es el porcentaje de uso consuntivo realizado por esta empresa, entonces el agua que queda libre dentro de la economía para otros usos es igual a  $x_{3,4} = (1-m)(x_{5,1}^* + x_{6,1}^*)$ .

Por último, la función de costo total de esta empresa es:

$$CT(\mathbf{p}, y_1) = p\ell_1^* + p_k k_1^* + p_5 x_{5,1}^* + p_6 x_{6,1}^* + \tau_3 m (x_{5,1}^* + x_{6,1}^*),$$

ya que para una función de producción de tipo Leontief le corresponde una función de costo total del tipo sustitutos. Recordemos que, la función de costos representa el costo mínimo correspondiente a los precios de los factores y el nivel de producción dado. Con notación más convencional se puede escribir que  $c(\mathbf{p}, y_1) = \mathbf{p}\mathbf{x}(\mathbf{p}, y_1)$ .

### 2.2.2. Problema de decisión del productor de agua tratada

La tecnología para producir agua tratada restituye en el agua residual, al menos parcialmente, la calidad necesaria para hacerla útil una vez más. El productor de agua tratada resuelve el siguiente problema de optimización:

$$\begin{aligned} \min_{\ell_4 \geq 0, k_4 \geq 0, x_{3,4} \geq 0} \quad & p\ell_4 + p_k k_4 + p_3 x_{3,4}, \\ \text{s.a } & Y_4 \leq f_4(\ell_4, k_4, x_{3,4}). \end{aligned}$$

De nuevo, una vez resuelto el problema de minimización, las demandas condicionadas son

$$\ell_4^* = Y_4 \left[ \frac{(\nu_4 \varphi_4 / \alpha_{\ell_4})^{-\rho_4} - \beta_{\ell_4}}{(\beta_{k_4} / \alpha_{k_4}^{\rho_4}) + (\beta_{3,4} / \alpha_{3,4}^{\rho_4})} \right]^{1/\rho_4},$$

$k_4^*$  y  $x_{3,4}^*$  se obtienen por simetría. Observe que, dado el conjunto de demandas condicionadas óptimas de cada problema de minimización de costos, si el conjunto  $\{\mathbf{x}_{ij}^* \geq 0 : f(\mathbf{x}_{ij}^*) \geq Y_j\}$  es convexo, entonces  $\mathbf{x}_{ij}^*(\mathbf{w}, y)$  es un conjunto convexo y resulta ser una solución interior al problema. Sin embargo, si  $\{\mathbf{x}_{ij}^* \geq 0 : f(\mathbf{x}_{ij}^*) \geq Y_j\}$  es un conjunto

<sup>3</sup> Varian (1992) y Mas-Colell, Whinston y Green (1995).



estrictamente convexo, entonces  $\mathbf{x}_{ij}^*(\mathbf{w}, y)$  es un valor óptimo y único. En nuestro caso ocurre lo primero.

2.2.3. Problema de decisión del productor del bien de consumo del tipo 2

Este bien de consumo se produce con dos clases de agua: tratada y de primer uso, pero sin generar desperdicio. Ejemplos de él pueden ser el regado de calles, algunos procesos de enfriamiento o el riego de algunos cultivos que no requieran agua de cierta calidad. El empleo de agua de primer uso se gravará, mientras que el agua tratada tendrá un precio subsidiado. El problema de decisión que resuelve el productor del bien de consumo tipo 2 es:

$$\min_{\ell_2, k_2, x_{4,2}, x_{5,2}, x_{6,2}} p\ell_2 + p_k k_2 + p'_4 x_{4,2} + p_5(1 + \tau_5)x_{5,2} + p_6(1 + \tau_6)x_{6,2},$$

donde  $\ell_2 \geq 0$ ,  $k_2 \geq 0$ ,  $x_{4,2} \geq 0$ ,  $x_{5,2} \geq 0$  y  $x_{6,2} \geq 0$ .

$$\text{s.a } Y_2 \leq f_2(\ell_2, k_2, x_{4,2}, x_{5,2}, x_{6,2}),$$

donde  $p'_4 = p_4(1 - \tau_4)$ . De aquí que las demandas condicionadas están dadas por

$$\ell_2^* = Y_2 \left[ \frac{(\nu_2 \varphi_2 / \alpha_{\ell_2})^{-\rho_2} - \beta_{\ell_2}}{M} \right]^{1/\rho_2},$$

donde

$$M = \frac{\beta_{k_2}}{\alpha_{k_2}^{\rho_2}} + \frac{\beta_{4,2}}{\alpha_{4,2}^{\rho_2}} + \frac{\beta_{5,2}}{\alpha_{5,2}^{\rho_2}} + \frac{\beta_{6,2}}{\alpha_{6,2}^{\rho_2}}.$$

y de la misma forma para  $k_2^*$ ,  $x_{4,2}^*$ ,  $x_{5,2}^*$ ,  $x_{6,2}^*$ .

2.2.4. Problema de decisión del productor de agua útil

Como ya se mencionó, en esta economía el agua no puede ser utilizada sin un proceso previo de transformación que la convierte en agua útil (superficial o subterránea). Supondremos que las empresas que se encargan de producir el agua útil resuelven los siguientes problemas

de minimización de costos. Para aquella empresa que se dedica a la producción de agua útil superficial el problema es:

$$\min_{\ell_5 \geq 0, k_5 \geq 0, sup_5 \geq 0} p\ell_5 + p_k k_5 + p_{sup_5} (1 + \tau_{sup_5}) sup_5,$$

$$\text{s.a : } Y_5 \leq f_5(\ell_5, k_5, sup_5).$$

Las demandas condicionadas están dadas por

$$\ell_5^* = Y_5 \left[ \frac{(\nu_5 \varphi_5 / \alpha_{\ell_5})^{-\rho_5} - \beta_{\ell_5}}{(\beta_{k_5} / \alpha_{k_5}^{\rho_5}) + (\beta_{sup_5} / \alpha_{sup_5}^{\rho_5})} \right]^{1/\rho_5}.$$

Para los casos de  $k_5^*$  y  $sup_5^*$ , las soluciones son similares. En este contexto  $\tau_{sup_5}$  representa un impuesto que debe pagar la empresa por la extracción de agua superficial.

Por otra parte, para la producción de agua útil proveniente de fuentes subterráneas el problema de minimización es:

$$\min_{\ell_6 \geq 0, k_6 \geq 0, sub_6 \geq 0} p\ell_6 + p_k k_6 + p_{sub_6} (1 + \tau_{sub_6}) sub_6,$$

$$\text{s.a : } Y_6 \leq f_6(\ell_6, k_6, sub_6).$$

La solución del problema arroja los siguientes resultados

$$\ell_6^* = Y_6 \left[ \frac{(\nu_6 \varphi_6 / \alpha_{\ell_6})^{-\rho_6} - \beta_{\ell_6}}{(\beta_{k_6} / \alpha_{k_6}^{\rho_6}) + (\beta_{sub_6} / \alpha_{sub_6}^{\rho_6})} \right]^{1/\rho_6},$$

$k_6^*$  y  $sub_6^*$  se obtienen por simetría. En este caso,  $\tau_{sub_6}$  es el impuesto que se debe pagar por la extracción de agua subterránea.

Igual que las demandas condicionadas, éstas están relacionadas de forma directa con un nivel de producción dado, e inversamente con los parámetros de requerimiento  $(\beta_{i,j} / \alpha_{i,j})$  de los factores diferentes al que corresponde la demanda analizada. Es decir, por un lado, las demandas están condicionadas a la producción de un nivel dado de  $Y_j$  y, por otro, si aumenta el cociente de requerimiento del factor capital  $(\beta_{k_6} / \alpha_{k_6})$ , la demanda de  $\ell_6^*$  disminuirá.

La situación anterior no crea conflicto con el planteamiento general del problema de minimización de costos, debido a que el conjunto  $\{\mathbf{x}_{ij}^* \geq 0 : f(\mathbf{x}_{ij}^*) \geq Y_j\}$  es convexo, y pueden existir diferentes combinaciones de factores que produzcan el mismo nivel de  $Y_6$ . Por último,

la relación de la demanda  $\ell_6^*$  con su propio nivel de requerimiento dependerá del valor de  $(\nu_6\varphi_6/\alpha_{\ell_6})$ , pero esperaríamos que tal relación fuera positiva.

### 2.3. Comportamiento de los consumidores

En esta sección analizaremos dos tipos de Derechos de Propiedad (DDP) del agua: la propiedad pública, en donde los recursos hidráulicos de la economía pertenecen al gobierno y la propiedad privada, en la cual el agua pertenece a los agentes privados. En ambos casos el agua se oferta inelásticamente. Por otro lado, los dos tipos de propiedad afectan, tanto a las restricciones presupuestales de los consumidores como a los beneficios de las empresas productoras de agua útil y, por ende, a los niveles de bienestar que se alcanzan en la economía. El agua puede ser consumida o ahorrada, la decisión la toma el agente consumidor o el gobierno, según quien detente la propiedad del recurso.

Es importante recordar que, cuando el gobierno es propietario del recurso, los ingresos derivados de la venta del agua sólo pueden destinarse a la conservación del recurso, esto es, no es posible transferir a los consumidores los ingresos obtenidos por su venta. Para realizar la evaluación de cada una de las formas de propiedad, caracterizaremos los beneficios y las restricciones presupuestales en cada caso. Los beneficios que obtienen los productores de agua útil, cuando la propiedad del agua recae en ellos, es la siguiente:

$$\Pi_5 = p_5Y_5 - p_\ell\ell_5 - p_kk_5 - p_{sup_5}(1 + \tau_{sup_5})sup_5,$$

y

$$\Pi_6 = p_6Y_6 - p_\ell\ell_6 - p_kk_6 - p_{sub_6}(1 + \tau_{sub_6})sub_6,$$

donde  $\tau_i, i = sup_5, sub_6$ , es el impuesto a la extracción, respectivamente.

En esta economía, la parte de la demanda comprende dos tipos de agentes, 1 y 2, cuyas preferencias se representan por medio de funciones de utilidad estrictamente cuasicóncavas y doblemente diferenciables. En este sentido, los consumidores obtienen utilidad a partir del consumo de  $x_1$  que emplea como insumo agua de primer uso ( $x_{5,1}$  y  $x_{6,1}$ ) y  $x_2$  que utiliza tanto agua de primer uso como agua tratada ( $x_{5,2}, x_{6,2}$  y  $x_{4,2}$ ). El consumidor, dueño del agua, toma la decisión de intercambiarla o de ahorrarla. Suponemos, también, que las dotaciones iniciales de los factores que cada uno de los agentes posee son

distintas. El agente 1 tiene el capital que hay en la economía y su fuerza laboral, mientras que el agente 2 posee el agua (superficial y subterránea) existente y su fuerza laboral.

### 2.3.1. Problema de decisión del consumidor del tipo 1

Partimos de la hipótesis básica de que cualquier consumidor racional siempre elige, del conjunto de posibilidades, la combinación de bienes que le producen la mayor satisfacción concebible. Si se supone una función objetivo continua y un conjunto de restricciones cerrado y acotado, el problema de maximización de utilidad que resuelve el consumidor 1 está dado por

$$\max_{x_1^1 \geq 0, x_2^1 \geq 0, x_{ocio}^1 \geq 0} U(x_1^1, x_2^1, x_{ocio}^1) = (x_1^1)^{\alpha_1} (x_2^1)^{\alpha_2} (x_{ocio}^1)^{\alpha_3},$$

$$\text{s.a. : } p_1 x_1^1 + p_2 x_2^1 \leq p_\ell (w_\ell^1 - x_{ocio}^1) + p_k w_k + T^1 \equiv ID^1,$$

donde  $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1$ ,  $T^1$  son las transferencias gubernamentales que recibe el consumidor. Se supone que  $ID^1 > 0$  y  $p_i > 0$ , lo cual nos asegura que el conjunto de restricciones está acotado y podemos obtener una solución interior. Además, los valores de  $\alpha_i$  representan la proporción del ingreso que el consumidor 1 gasta en cada bien.

Las demandas marshallianas son

$$x_1^{1*}(\underline{p}) = \alpha_1 \left( \frac{p_\ell w_\ell^1 + p_k w_k + T^1}{p_1} \right),$$

$$x_2^{1*}(\underline{p}) = \alpha_2 \left( \frac{p_\ell w_\ell^1 + p_k w_k + T^1}{p_2} \right)$$

y

$$x_{ocio}^{1*}(\underline{p}) = \alpha_3 \left( \frac{p_\ell w_\ell^1 + p_k w_k + T^1}{p_\ell} \right).$$

Como cualquier conjunto óptimo de elecciones, estas demandas marshallianas son homogéneas de grado cero en los precios y la renta, es decir, frente a un aumento proporcionalmente igual en los precios y la renta, no se altera el conjunto presupuestario walrasiano y, por

lo tanto, el conjunto de elecciones óptimas no cambia. También, este conjunto de demandas cumple con la ley de Walras, es decir,  $\mathbf{px} = \mathbf{w} \quad \forall x_i \in x(p, w)$ .

### 2.3.2. Problema de decisión del consumidor del tipo 2

El agente 2 es propietario del agua y tiene que decidir cuanto ahorrar. El problema de maximización de utilidad que resuelve tal consumidor es

$$\max_{x_1^2, x_2^2, x_{ocio}^2, sup_s, sub_s} U(x_1^2, x_2^2, x_{ocio}^2, sup_s, sub_s) = (x_1^2)^{\alpha_1} (x_2^2)^{\alpha_2} (x_{ocio}^2)^{\alpha_3} (sup_s)^{\alpha_4} (sub_s)^{\alpha_5}$$

donde  $x_1^2 \geq 0, x_2^2 \geq 0, x_{ocio}^2 \geq 0, sup_s \geq 0, y sub_s \geq 0$ .

$$\text{s.a: } p_1 x_1^2 + p_2 x_2^2 \leq ID^2,$$

donde  $\sum_{i=1}^5 \alpha_i = 1$ . El valor de  $ID^2$  está definido por

$$ID^2 \equiv p_\ell (w_\ell^2 - x_{ocio}^2) + p_{sup_5} (w_{sup} - sup_s) + p_{sub_6} (w_{sub} - sub_s) + T^2 + \Pi_5 + \Pi_6.$$

Una vez más,  $T^2$  son las transferencias gubernamentales.  $\Pi_5$  y  $\Pi_6$  son los beneficios que el agente obtiene de la producción de agua útil (superficial y subterránea). Por último, y de la misma forma que en el problema anterior, podemos obtener las demandas marshallianas para  $(x_1^{2*}, x_2^{2*}, x_{ocio}^{2*}, sup_s^*, sub_s^*)$ , las cuales dependen de  $(\underline{p})$  mediante:

$$x_i^{2*}(\underline{p}) = \alpha_i \left( \frac{ID^{2*}}{p_i} \right), i = 1, 2,$$

$$x_{ocio}^{2*}(\underline{p}) = \alpha_3 \left( \frac{ID^{2*}}{p_\ell} \right),$$

$$sup_s^*(\underline{p}) = \alpha_4 \left( \frac{ID^{2*}}{p_{sup_5}} \right)$$

y

$$sub_s^*(p) = \alpha_5 \left( \frac{ID^{2*}}{p_{sub_6}} \right) ID^{2*}.$$

donde  $ID^{2*} = p_\ell w_\ell^2 + p_{sup_5} w_{sup} + p_{sub_6} w_{sub} + T^2 + \Pi_5^* + \Pi_6^*$ . Aquí,  $\Pi_5^*$  y  $\Pi_6^*$  se obtienen a partir de los problemas de maximización de beneficios presentados en la sección 2.3., de donde también se derivan las demandas ordinarias de factores y las funciones de oferta correspondiente a cada producto ( $sup_5, sub_6$ ).

### 3. Instrumentación de la política fiscal

El gobierno puede ser poseedor o no de los recursos hidráulicos existentes en la economía. En cualquier caso gravará: el consumo del agua, la producción de agua residual, el consumo de los bienes  $x_1$  y  $x_2$ , así como el capital y el trabajo necesarios para producirlos. Además, supondremos que el gobierno transfiere en forma directa a los consumidores el total del ingreso por impuestos, pero no así el de la venta del agua, el cual usa para mantener los niveles de agua ahorrada. Por lo tanto, en esta economía el gobierno recauda impuestos, redistribuye el ingreso y no genera utilidad para los consumidores. Así, la restricción presupuestal del gobierno cuando existe la propiedad privada es

$$R^c + R^\ell + R^k + \tau_3 x_3^* + p_{sup_5} (1 + \tau_{sup_5}) sup_5^* + p_{sub_6} (1 + \tau_{sup_6}) sub_6^* = Q,$$

donde

$$Q = T^1 + T^2.$$

En cambio, cuando la propiedad del agua la detenta el gobierno, la restricción presupuestal es

$$\begin{aligned} R^c + R^\ell + R^k + \tau_3 x_3^* + p_{sup_5} sup_5^* + p_{sub_6} sub_6^* \\ = p_{sup_5} sup_s^* + p_{sub_6} sub_s^* + T^1 + T^2. \end{aligned}$$

Finalmente, las recaudaciones por consumo, trabajo y capital son iguales a

$$R^c = \sum_{j=1}^2 \tau_j^c p_j x_j^{1*} + \sum_{j=1}^2 \tau_j^c p_j x_j^{2*},$$

$$R^\ell = p_\ell \sum_{j=1}^2 \tau_j^\ell \ell_j^*$$

y

$$R^k = p_k \sum_{j=1}^2 \tau_j^k k_j^*.$$

#### 4. Equilibrio general

El equilibrio para esta economía se define como un vector de precios de bienes y factores, un vector de planes de consumo y de producción y un nivel de recaudación, que satisfacen las siguientes condiciones.

##### 4.1. Equilibrio en el mercado de bienes

La cantidad producida del bien es igual a la suma de las demandas finales o, en su caso, intermedias, que realiza cada uno de los agentes económicos.

$$\begin{aligned} Y_j^* &= x_j^{1*} + x_j^{2*}, \quad j = 1, 2, \\ Y_j^* &= x_{j,1}^* + x_{j,2}^*, \quad j = 5, 6, \\ Y_4^* &= x_{4,2}^* \end{aligned}$$

y

$$Y_3^* = x_{3,4}^*.$$

Recordemos que la producción de agua residual,  $x_3$ , no posee una función de producción explícita, simplemente es la diferencia entre la cantidad de agua útil, superficial y subterránea y el uso consuntivo que hace de ella la empresa.

##### 4.2. Equilibrio en el mercado de factores

Las dotaciones iniciales de cada uno de los factores existentes dentro de la economía deben ser iguales a las demandas óptimas, que tanto los consumidores como las empresas hacen de ellos. En este sentido,

las demandas de factores de cada empresa se calculan a partir de la maximización de beneficios.

$$w_\ell = (x_{ocio}^{1*} + x_{ocio}^{2*}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 3}}^6 \ell_j^*,$$

$$w_k = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 3}}^6 k_j^*,$$

$$w_{sup} = sup_5^* + sup_s^*,$$

$$w_{sub} = sub_6^* + sub_s^*.$$

#### 4.3. Equilibrio fiscal

El nivel de recaudación del gobierno es igual a los pagos fiscales realizados por cada uno de los agentes económicos, satisfaciendo de esta forma la identidad contable existente entre ellos.

El supuesto de existencia de un equilibrio nos obliga a construir un esquema de contabilidad que asegure se cumplan las condiciones antes mencionadas. Se identifican cuatro conjuntos de condiciones de equilibrio que deben satisfacerse: a) en los mercados de bienes la demanda es igual a la oferta, b) no se alcanzan beneficios positivos en ninguna industria, c) los agentes satisfacen sus demandas cumpliendo con su restricción presupuestal y d) el gobierno no incurre en déficit.

Para construir la base de datos, que requiere el equilibrio computable, se utiliza información de diversas fuentes. Las matrices SAM (*Social Accounting Matrices*) poseen una estructura adecuada para revisar la consistencia de la información obtenida a partir de diferentes fuentes, ya que contienen para cada agente del modelo el ingreso y el gasto, así como las ventas y compras de insumos para cada bien (véase, por ejemplo, Ginsburgh y Keyzer (1997)).

La información que se utiliza en este trabajo se obtuvo de las siguientes fuentes: *Sistema de cuentas nacionales de México*, *Encuesta ingreso-gasto*, *Censos económicos*, *Sistema de información municipal básica* y *Matriz de insumo-producto* del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI; parámetros técnicos en la utilización del agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y resúmenes ejecutivos de los lineamientos regionales de la Comisión Nacional del Agua. Se utiliza 1993 como año base y las cifras se trabajarán en millones de pesos.



Dado que uno de los objetivos del trabajo es evaluar el efecto de la abundancia relativa del recurso en la eficiencia de la política fiscal, se armaron dos matrices de contabilidad social para dos regiones hidrológicas diferentes: Grijalva-Usumacinta, como zona de abundancia relativa de agua y Nazas-Aguanaval, como zona de escasez relativa. Una característica importante en el manejo de la información del modelo es que el agua residual se considera como un bien, con un precio de intercambio dentro del mercado, mientras que el agotamiento del agua se considera como un mal.

### 5. Estimación de parámetros y ejercicios de estática comparativa

Una vez que la información ha sido recopilada y sistematizada, así como establecida la metodología para evaluar las políticas fiscales según los distintos DDP del agua, procederemos a la calibración del modelo. Para resolver dicho problema, primero se establece un conjunto inicial de parámetros que definen el equilibrio de referencia (*benchmark equilibrium*). Una vez determinados es posible realizar ejercicios de estática comparativa, es decir, encontrar nuevas soluciones para el equilibrio frente a modificaciones de algunas variables exógenas (*counterfactual equilibrium*). Para la solución de este problema se siguió la metodología sugerida por Shoven (1995).<sup>4</sup>

Representamos las demandas de cada agente  $h$  por el bien  $g$  de la forma  $X_h^g(p^g, p^{\mathcal{F}}, ID_h)$ . Donde  $p^g$  son los precios de los bienes,  $p^{\mathcal{F}}$  los precios de los factores y  $ID_h$  la restricción presupuestal del agente  $h$ , en la cual se incluyen las dotaciones iniciales de los agentes y las transferencias gubernamentales que reciben. Por otro lado, en presencia de rendimientos constantes a escala, la maximización de beneficios por parte de los productores implica la minimización de costos, y por el lema de Shepard podemos obtener las demandas derivadas de factores. Al suponer que las funciones de producción representan tecnologías convexas, continuas y con libre disposición, y dado que la cantidad de factores es limitada en la naturaleza, sabemos que la solución es acotada. Si además representamos las demandas del factor  $\mathcal{I}$  para producir el bien  $g$  como  $Y_h^g(p^g, p^{\mathcal{I}}, q^g)$ , donde  $q^g$  son las cantidades producidas de los bienes  $g$ , podemos escribir la función de exceso de demanda de la siguiente manera:

---

<sup>4</sup> Una descripción más detallada de la metodología puede verse en Scarf (1973) y Ginsburgh y Keyzer (1997).

$$\sum_h X_h^g(p^g, p^{\mathcal{F}}, ID_h) + \sum_h Y_h^g(p^g, p^{\mathcal{T}}, q^g) = q^g, \quad \forall g, \forall \mathcal{F} \text{ y } \forall \mathcal{L}.$$

Entonces, la condición de beneficios nulos nos asegura que el precio de cada bien es igual a su costo marginal. Además, el gobierno recauda dinero al gravar el capital, el trabajo y el agua; redistribuyendo dicha recaudación entre los consumidores directamente a su restricción presupuestal. El algoritmo usado para determinar el equilibrio computable puede resumirse en los siguientes pasos: 1) se postula una conjetura inicial sobre los precios de los factores, los bienes y la recaudación, 2) se calcula el precio de cada bien, recordando que es igual a su costo marginal, 3) se calcula el valor de la dotación inicial de los recursos para cada agente  $h$  y la demanda de cada uno de ellos, por los bienes que se encuentran en su canasta, 4) se iguala la cantidad producida de cada bien a su demanda final, 5) se determina la demanda de cada factor a partir de los precios y las cantidades producidas y 6) se comparan las demandas de factores con las dotaciones de factores en la economía, y la recaudación calculada con la observada en el equilibrio. Si se cumplen estas dos igualdades, se ha encontrado un equilibrio. En caso contrario, se repite el proceso a partir de 2), tomando los últimos valores calculados como los valores conjeturados.

Las formas funcionales de las funciones de producción y de preferencias, útiles para estimar los parámetros relevantes y calibrar el modelo, ya han sido definidas. Como es habitual en este tipo de modelos, las funciones de producción son del tipo Leontief, en donde aparecen como parámetros las cantidades de bienes intermedios utilizados como insumos. Por último, la demanda final estará determinada por la demanda de los dos tipos de consumidores, los cuales tienen una función de utilidad del tipo Cobb-Douglas.

Por otra parte, la calibración es un proceso determinista con el que se pueden reproducir algunos hechos empíricos y encontrar correspondencia entre los valores de las variables endógenas del modelo y sus valores observados en la realidad. En otras palabras, la calibración consiste en estimar aquellas variables que permitan reproducir el equilibrio de referencia, el cual se describe en la matriz de contabilidad social. En el presente modelo, los parámetros que se fijan son los relacionados con la tecnología, las preferencias y las dotaciones iniciales existentes en la economía.

**Cuadro 1**  
*Parámetros y valores iniciales: Grijalva-Usumacinta*

<i>Tecnología</i>	<i>Preferencias</i>	<i>Dotaciones</i>	<i>Variables fiscales</i>
$1/\alpha_{i,j} = 1 - 1/i$	$\alpha_i^1 = 1/3$	$w_\ell^1 = 100$ hrs.	$\tau_{sup_5} = 0.10$
$1/\nu_j = 1/i$	$T^1 = 10.0$	$w_k^1 = 411.6$	$\tau_{sup_6} = 0.05$
$\varphi_j = 2$	$\alpha_i^2 = 1/5$	$w_{sup}^1 = 0.0$	$\tau_j^\ell = 0.30$
$\beta_{i,j} = 1/i$	$T^2 = 21.3$	$w_{sub}^1 = 0.0$	$\tau_j^k = 0.02$
$\rho_j = 2$		$w_\ell^2 = 270.5$ hrs.	$\tau_j^c = 0.15$
$m = 4/5$		$w_k^2 = 0.0$	
		$w_{sup}^2 = 355.5$	
		$w_{sub}^2 = 9.9$	
<i>Equilibrio de referencia</i>			
<i>Precio</i>	<i>Consumidor</i>	<i>Productor</i>	
$p_\ell = 33$	$x_1^{1*} = 276.6$	$\ell_1^* = 180.5$	
$p_k = 0.06$	$x_2^{1*} = 246.0$	$k_1^* = 221.7$	
$p_{sup_5} = 1.25$	$x_{ocio}^{1*} = 8.2$ hrs.	$x_{5,1}^* = 10.0$	
$p_{sub_6} = 1.40$	$x_1^{2*} = 108.9$	$x_{6,1}^* = 10.2$	
$p_1 = 5.15$	$x_2^{2*} = 183.0$	$\ell_2^* = 94.5$	
$p_2 = 7.50$	$x_{ocio}^{2*} = 16$ hrs.	$k_2^* = 107.5$	
$p_3 = 0.15$	$sup_s^* = 327$	$x_{4,2}^* = 134.4$	
$p_4 = 0.50$	$sub_s^* = 9.5$	$x_{5,2}^* = 19.3$	
$p_5 = 0.70$		$x_{6,2}^* = 14.2$	
$p_6 = 0.90$		$\ell_4^* = 15.0$	
		$k_4^* = 7.0$	
		$x_{3,4}^* = 112.4$	
		$\ell_5^* = 27.2$	
		$k_5^* = 28.0$	
		$sup_5^* = 28.5$	
		$\ell_6^* = 29.1$	
		$k_6^* = 19.2$	
		$sub_6^* = 0.4$	

La determinación de los parámetros no es arbitraria, sino que responde al comportamiento optimizador de cada uno de los agentes económicos que intervienen en el modelo. A excepción de los parámetros relacionados con la elasticidad de sustitución, los demás se determinan con la información de la matriz. Se construyó una matriz SAM para cada región hidrológica y se simula el comportamiento de la política fiscal de acuerdo con los diferentes supuestos del modelo, entre los que se encuentran los DDP.

Lo que esperamos obtener, una vez calibrado el modelo, son los valores de ciertas variables económicas, que puedan ser comparables con las magnitudes observadas en la realidad. De esta forma, pretendemos establecer el grado de predicción entre los resultados del modelo y los datos reales.

**Cuadro 2**  
*Parámetros y valores iniciales: Nazas-Aguanaval*

<i>Tecnología</i>	<i>Preferencias</i>	<i>Dotaciones</i>	<i>Variables fiscales</i>
$1/\alpha_{i,j} = 1 - 1/i$	$\alpha_i^1 = 1/3$	$w_\ell^1 = 242.9$ hrs.	$\tau_{sup_5} = 0.10$
$1/\nu_j = 1/i$	$T^1 = 30.0$	$w_k^1 = 2007.6$	$\tau_{sup_6} = 0.05$
$\varphi_j = 2$	$\alpha_i^2 = 1/5$	$w_{sup}^1 = 0.0$	$\tau_j^\ell = 0.30$
$\beta_{i,j} = 1/i$	$T^2 = 67.2$	$w_{sub}^1 = 0.0$	$\tau_j^k = 0.02$
$\rho_j = 2$		$w_\ell^2 = 700.0$ hrs.	$\tau_j^c = 0.15$
$m = 4/5$		$w_k^2 = 0.0$	
		$w_{sup}^2 = 37.6$	
		$w_{sub}^2 = 11.5$	
<i>Equilibrio de referencia</i>			
<i>Precio</i>	<i>Consumidor</i>		<i>Productor</i>
$p_\ell = 33$	$x_1^* = 751.3$		$\ell_1^* = 230.2$
$p_k = 0.06$	$x_2^* = 1529.2$		$k_1^* = 597.4$
$p_{sup_5} = 1.50$	$x_{ocio}^1 = 14.6$		$x_{5,1}^* = 12.1$
$p_{sub_6} = 1.80$	$x_1^2 = 396.6$		$x_{6,1}^* = 12.1$
$p_1 = 6.00$	$x_2^2 = 370.6$		$\ell_2^* = 542.0$
$p_2 = 8.10$	$x_{ocio}^2 = 6.4$		$k_2^* = 1208.4$
$p_3 = 0.22$	$sup_s^* = 0.0$		$x_{4,2}^* = 327.2$
$p_4 = 0.60$	$sub_s^* = 7.3$		$x_{5,2}^* = 20.0$
$p_5 = 0.95$			$x_{6,2}^* = 20.0$

**Cuadro 2**  
(continuación)

<i>Tecnología</i>	<i>Preferencias</i>	<i>Dotaciones</i>	<i>Variables fiscales</i>
<i>Equilibrio de referencia</i>			
<i>Precio</i>	<i>Consumidor</i>		<i>Productor</i>
$p_6=1.10$			$\ell_4^* = 50.0$
			$k_4^* = 70.0$
			$x_{3,4}^* = 206.4$
			$\ell_5^* = 45.7$
			$k_5^* = 43.0$
			$sup_5^* = 37.6$
			$\ell_6^* = 54.0$
			$k_6^* = 50.0$
			$sub_6^* = 4.2$

Como mencionamos, los valores están expresados en millones de pesos de 1993. Las cantidades de agua consumida, ahorrada y extraída se miden en metros cúbicos. Debido a que los datos sobre el recurso se proporcionan bimestralmente en nuestro país, las dotaciones de trabajo se miden en horas por bimestre. Los precios del agua se obtienen a través de un promedio ponderado de la escala de tarifas, tanto para el uso doméstico como para el comercial e industrial, considerando, evidentemente, la zona hidrológica. Algunas variables tecnológicas cambian según el número de factores que cada empresa emplea en su proceso productivo.

## 6. Resultados

A pesar de que la calibración y la simulación se realizaron para varios valores de la elasticidad de sustitución de la producción, sólo se reportan los resultados de las simulaciones para un solo valor de elasticidad, ya que la modificación de este parámetro no produjo cambios sustantivos en los resultados. Una vez construido el modelo, el procedimiento seguido fue encontrar diferentes equilibrios, modificando para ello el valor de los impuestos y de los subsidios. Dichas modificaciones se hicieron en rangos que aseguran la factibilidad de las

soluciones. Los efectos, en términos de bienestar de las distintas alternativas de política fiscal, son mostrados gráficamente y en forma tabular. Al final de esta sección se muestran los efectos en la conservación del recurso debido a las políticas simuladas.

### 6.1. *Efectos en el bienestar*

Las gráficas 1 y 2 muestran que en el caso de propiedad pública, tanto en zonas con abundancia como con escasez de agua, la aplicación de un impuesto al uso consuntivo no tiene efectos sobre el bienestar social; mientras que, si se aplica un subsidio al agua tratada, se observa un efecto positivo sobre el mismo.<sup>5</sup>

En las gráficas 3 y 4 se presentan los resultados de las simulaciones para el caso de propiedad privada del recurso. De acuerdo con estos, el subsidio al consumo de agua tratada no mejora los niveles de la variación compensada, la cual se emplea como una medida del bienestar. Cuando se aplica un impuesto, el efecto es sistemáticamente nocivo para el bienestar social, sobre todo en el caso de la abundancia relativa.

Por otra parte, para relacionar los resultados con el bienestar de cada uno de los agentes del modelo, empleamos la medida del bienestar conocida como variación compensada. De esta forma, examinamos el cambio que se produce en el ingreso y el gasto de los consumidores, ante cambios en las variables fiscales asociadas a un cierto equilibrio de referencia. El cálculo de la variación compensada,  $VC$ , se expresa como sigue:

$$VC = e(p_1, U_1) - e(p_1, U_0),$$

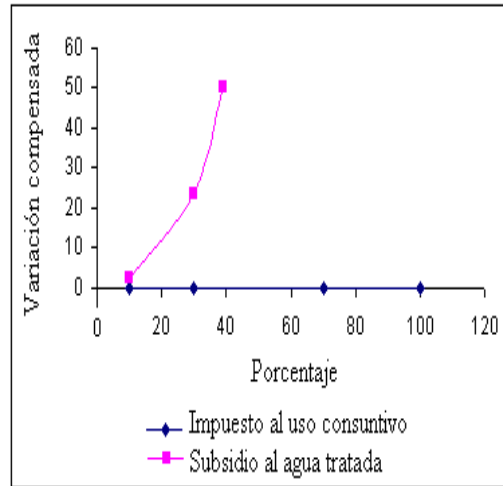
donde  $p_1$  son los precios de equilibrio después de aplicar el impuesto o el subsidio,  $U_1$  es el nivel de utilidad alcanzado por el consumidor a estos precios,  $U_0$  el nivel de utilidad con los precios de la economía en el equilibrio de referencia y  $e$  la función de gasto. Las variaciones se muestran en porcentajes.

El efecto del impuesto al uso consuntivo del agua modifica los precios relativos, de forma tal, que aumenta el gasto en el bien de consumo 2 y disminuye en el bien de consumo 1. Por otra parte, el ingreso del agente 2 aumenta en mayor proporción que el del agente 1, como consecuencia de tener en su propiedad el agua. Puede observarse, por tanto, que la nueva situación empeora al agente 1, mientras que beneficia al agente 2, con lo que la sociedad pierde en tal situación.

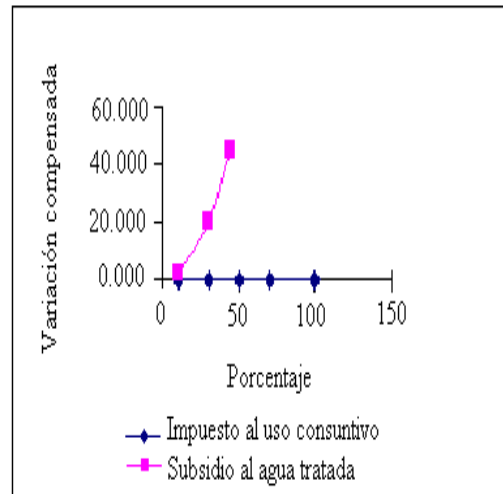
---

<sup>5</sup> Las cifras corresponden a millones de pesos de 1993.

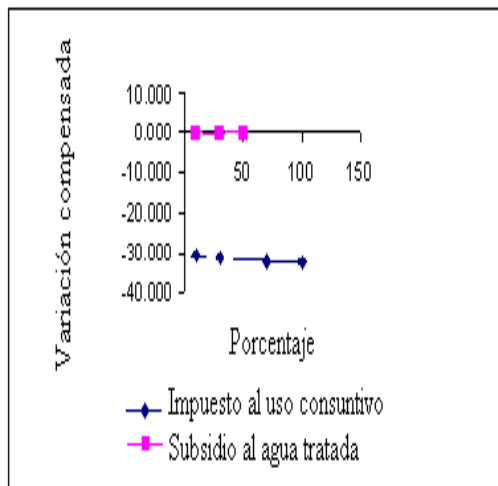
**Gráfica 1**  
*Abundancia relativa: Grijalva-Usumacinta*  
*(Propiedad pública)*



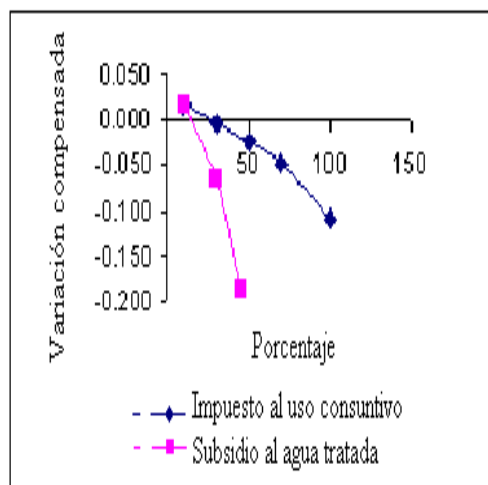
**Gráfica 2**  
*Escasez relativa: Nazas-Aguanaval*  
*(Propiedad pública)*



**Gráfica 3**  
*Abundancia relativa: Grijalva-Usumacinta*  
*(Propiedad privada)*



**Gráfica 4**  
*Escasez relativa: Nazas-Aguanaval*  
*(Propiedad privada)*





**Cuadro 3**  
*Impuesto al uso consuntivo del agua del 13%*  
*(Propiedad privada y abundancia relativa)*

<i>Ingresos</i>					
<i>Consumidores</i>	$T$	$k$	$\ell$	$sup_j$	$sub_j$
1	17.33	0.03	0.00	–	–
2	17.33	–	0.00	1.11	1.13

<i>Gastos</i>				
<i>Consumidores</i>	$x_1$	$x_2$	$sup_s$	$sub_s$
1	–0.29	0.53	–	–
2	–0.43	0.39	0.16	0.09

<i>Modificación en el bienestar</i>			
<i>Consumidores</i>	$e(p_1, U_1)$	$e(p_1, U_0)$	$VC$
1	524.44	557.13	–32.684
2	665.03	663.10	1.936
Diferencia			–30.748

El cuadro 4 presenta los resultados obtenidos cuando se tiene propiedad privada bajo un contexto de abundancia relativa (Grijalva-Usumacinta). Ahora existe un subsidio al consumo de agua tratada.

Como puede observarse, la instrumentación del subsidio al agua tratada disminuye el monto de las transferencias del gobierno hacia los consumidores alrededor del 30%, con respecto al equilibrio de referencia. Además, se produce una disminución en los precios del agua de ambos tipos, lo cual implica una caída en los ingresos del consumidor 2. Esto, a su vez, genera una menor demanda de ambos bienes de consumo por parte de dicho consumidor y, por ende, disminuye su bienestar.

Hay que recordar que, para el consumidor 2, el agua consumida es una fuente de ingresos, mientras que el agua ahorrada lo es de gastos, por lo tanto, en condiciones de abundancia relativa el gasto por este concepto es muy alto. Asimismo, hay que enfatizar que, en las simulaciones realizadas, el resto de las tasas impositivas se mantienen fijas, por lo que la recaudación se ajusta en cada equilibrio.

En el cuadro 5 presentamos el caso en donde la propiedad del agua es pública. Las transferencias del gobierno hacia el consumidor

**Cuadro 4**

*Subsidio al consumo de agua tratada del 21%*  
*(Propiedad privada y abundancia relativa)*

<i>Ingresos</i>					
<i>Consumidores</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>ℓ</i>	<i>sup<sub>j</sub></i>	<i>sub<sub>j</sub></i>
1	-32.58	-0.07	0.00	—	—
2	-32.58	—	0.00	-2.40	-2.45

<i>Gastos</i>				
<i>Consumidores</i>	<i>x<sub>1</sub></i>	<i>x<sub>2</sub></i>	<i>sup<sub>s</sub></i>	<i>sub<sub>s</sub></i>
1	0.38	1.26	—	—
2	-1.53	-0.67	-0.35	-0.21

<i>Modificación en el bienestar</i>			
<i>Consumidores</i>	<i>e(p<sub>1</sub>, U<sub>1</sub>)</i>	<i>e(p<sub>1</sub>, U<sub>0</sub>)</i>	<i>VC</i>
1	519.07	515.07	4.075
2	640.45	644.60	-4.148
Diferencia			-0.073

**Cuadro 5**

*Impuesto al uso consuntivo del agua del 13%*  
*(Propiedad pública y abundancia relativa)*

<i>Ingresos</i>					
<i>Consumidores</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>ℓ</i>	<i>sup<sub>j</sub></i>	<i>sub<sub>j</sub></i>
1	17.26	0.00	0.00	—	—
2	17.26	—	0.00	—	—

<i>Gastos</i>				
<i>Consumidores</i>	<i>x<sub>1</sub></i>	<i>x<sub>2</sub></i>	<i>sup<sub>s</sub></i>	<i>sub<sub>s</sub></i>
1	-0.27	0.65	—	—
2	-0.39	0.54	—	—

<i>Modificación en el bienestar</i>			
<i>Consumidores</i>	<i>e(p<sub>1</sub>, U<sub>1</sub>)</i>	<i>e(p<sub>1</sub>, U<sub>0</sub>)</i>	<i>VC</i>
1	524.33	526.03	-1.708
2	295.58	293.87	1.706
Diferencia			-0.002

son del mismo orden, aunque, obviamente, los ingresos por el agua son nulos. Como consecuencia de la aplicación del impuesto, el consumo del bien 1 disminuye para ambos agentes y aumenta el del bien 2, con lo cual queda prácticamente inalterado el bienestar de la sociedad, aunque se produce una transferencia del agente 1 al agente 2.

El cuadro 6 presenta el caso cuando la propiedad del recurso es pública en condiciones de abundancia y se aplica un subsidio al consumo de agua tratada.

**Cuadro 6**

*Subsidio al consumo de agua tratada del 21%  
(Propiedad pública y abundancia relativa)*

<i>Ingresos</i>					
<i>Consumidores</i>	$T$	$k$	$\ell$	$sup_j$	$sub_j$
1	-32.59	-0.12	0.00	-	-
2	-32.59	-	0.00	-	-

<i>Gastos</i>				
<i>Consumidores</i>	$x_1$	$x_2$	$sup_s$	$sub_s$
1	0.42	-1.25	-	-
2	1.34	-0.35	-	-

<i>Modificación en el bienestar</i>			
<i>Consumidores</i>	$e(p_1, U_1)$	$e(p_1, U_0)$	$VC$
1	518.84	514.44	4.398
2	284.96	286.94	-1.977
Diferencia			2.421

Como puede observarse en este caso, el monto de las transferencias también disminuye como consecuencia de la aplicación del subsidio al agua tratada. Al mismo tiempo, debido a la modificación de los precios relativos, aumenta el consumo del bien 1 y disminuye el del bien 2. La variación compensada en su conjunto aumenta, a pesar de que para el agente 2 se vea disminuida.

Mostraremos ahora los resultados obtenidos cuando se aplican los distintos instrumentos de política fiscal a la zona de mayor escasez relativa (Nazas-Aguanaval).

El propietario del agua, el agente 2, aumenta su bienestar como consecuencia del incremento en los montos de las transferencias que

recibe del gobierno y al aumento del valor del agua subterránea. El agua superficial disminuye ligeramente su precio. El agente 1, por su parte, ve disminuido su consumo de ambos bienes, de forma que el efecto en su bienestar es negativo y casi de la misma magnitud que el aumento en el bienestar del agente 2.

**Cuadro 7**  
*Impuesto al uso consuntivo del agua del 18%*  
*(Propiedad privada y escasez relativa)*

<i>Ingresos</i>					
<i>Consumidores</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>ℓ</i>	<i>sup<sub>j</sub></i>	<i>sub<sub>j</sub></i>
1	5.64	0.00	0.00	—	—
2	5.64	—	0.00	-0.01	0.30

<i>Gastos</i>				
<i>Consumidores</i>	<i>x<sub>1</sub></i>	<i>x<sub>2</sub></i>	<i>sup<sub>s</sub></i>	<i>sub<sub>s</sub></i>
1	-0.12	-0.10	—	—
2	0.27	0.29	0.42	0.00

<i>Modificación en el bienestar</i>			
<i>Consumidores</i>	<i>e(p<sub>1</sub>, U<sub>1</sub>)</i>	<i>e(p<sub>1</sub>, U<sub>0</sub>)</i>	<i>VC</i>
1	2282.24	2284.62	-2.388
2	820.12	817.72	2.405
Diferencia			0.017

En el caso de propiedad privada y escasez relativa, cuando se subsidia el consumo de agua tratada se obtienen los resultados que se presentan en el cuadro 8.

**Cuadro 8**  
*Subsidio al consumo de agua tratada del 25%*  
*(Propiedad privada y escasez relativa)*

<i>Ingresos</i>					
<i>Consumidores</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>ℓ</i>	<i>sup<sub>j</sub></i>	<i>sub<sub>j</sub></i>
1	-19.25	-0.02	0.00	—	—
2	-19.25	—	0.00	0.08	-1.17

**Cuadro 8**  
(continuación)

<i>Gastos</i>				
<i>Consumidores</i>	$x_1$	$x_2$	$sup_s$	$sub_s$
1	0.24	0.54	–	–
2	-1.35	-1.05	-1.67	0.00

<i>Modificación en el bienestar</i>			
<i>Consumidores</i>	$e(p_1, U_1)$	$e(p_1, U_0)$	$VC$
1	2274.41	2264.39	10.022
2	801.20	811.20	-10.005
Diferencia			0.017

Cuando se subsidia el consumo de agua tratada, el bienestar del agente poseedor del agua disminuye, como consecuencia de la caída en el valor del agua subterránea y de las transferencias. Mientras que, el abaratamiento de los bienes de consumo induce a un incremento en el bienestar del agente 1, de tal forma, que la sociedad obtiene un ligero incremento en su bienestar.

Finalmente, para el caso de propiedad pública y escasez relativa del recurso se presentan los resultados en los cuadros 9 y 10.

**Cuadro 9**  
*Impuesto al uso consuntivo del agua del 18%*  
(Propiedad pública y escasez relativa)

<i>Ingresos</i>					
<i>Consumidores</i>	$T$	$k$	$\ell$	$sup_j$	$sub_j$
1	5.65	0.00	0.00	–	–
2	5.65	–	0.00	–	–

<i>Gastos</i>				
<i>Consumidores</i>	$x_1$	$x_2$	$sup_s$	$sub_s$
1	-0.12	-0.10	–	–
2	0.30	0.32	–	–

**Cuadro 9**  
(continuación)

<i>Modificación en el bienestar</i>			
<i>Consumidores</i>	$e(p_1, U_1)$	$e(p_1, U_0)$	$VC$
1	2282.21	2284.60	-2.385
2	770.99	768.61	2.388
Diferencia			0.003

Hasta ahora se ha observado que, si el gobierno grava el uso consuntivo del recurso, entonces aumentan las transferencias hacia los agentes, y las distorsiones en los precios relativos perjudican al agente 1 y benefician al 2. El último caso que analizamos es aquel en el que se subsidia el consumo de agua tratada, en un contexto de escasez relativa alta, donde el gobierno detenta la propiedad del recurso.

**Cuadro 10**  
*Subsidio al consumo de agua tratada del 25%*  
(Propiedad pública y escasez relativa)

<i>Ingresos</i>					
<i>Consumidores</i>	$T$	$k$	$\ell$	$sup_j$	$sub_j$
1	-19.21	-0.02	0.00	-	-
2	-19.21	-	0.00	-	-

<i>Gastos</i>				
<i>Consumidores</i>	$x_1$	$x_2$	$sup_s$	$sub_s$
1	0.24	0.54	-	-
2	-1.17	-0.88	-	-

<i>Modificación en el bienestar</i>			
<i>Consumidores</i>	$e(p_1, U_1)$	$e(p_1, U_0)$	$VC$
1	2274.24	2264.21	10.031
2	754.29	762.15	-7.854
Diferencia			2.177

Aquí, el subsidio al agua tratada provoca una disminución de las transferencias a los consumidores del 19.21% y los precios relativos modifican las canastas de consumo, de tal manera que, el agente 1 mejora su bienestar, mientras que el agente 2 lo empeora. En el agregado, la sociedad en su conjunto mejora.

Por otra parte, y de acuerdo con el espíritu del trabajo, en el siguiente cuadro se muestran los valores observados de las variables endógenas. Los datos son útiles para comparar y determinar la calidad de los resultados del modelo. Dado que nuestro propósito es reproducir y, de manera modesta, predecir el comportamiento de las variables fiscales dentro de un modelo de equilibrio general, cuyo sector económico relevante es el hidráulico, las variables relativas a los subsidios y a los impuestos son las que se van a calibrar.

**Cuadro 11**  
*Variables observadas vs. variables calibradas*

<i>Variables fiscales</i>		
	<i>Grijalva-Usumacinta (abundancia relativa)</i>	<i>Nazas-Aguanaval (escasez relativa)</i>
<i>Valores observados</i>	<i>Valores calibrados</i>	<i>Valores calibrados</i>
$\tau_3=0.55$	0.6119	0.6804
$\tau_4=0.40$	0.2125	0.2461
$\tau_5=0.10$	0.1272	No aplica
$\tau_6=0.07$	0.1001	0.1795

Las variables observadas fueron calculadas a partir de los procedimientos especificados en la Ley Federal de Derechos. “No aplica” significa que para el caso de la zona hidrológica de Nazas-Aguanaval sólo existe agua subterránea.

De acuerdo con la realidad que existe en nuestro país, los datos del cuadro 11 corresponden a un escenario donde el derecho de propiedad del agua es pública. En este caso, la descripción de cada uno de los diferentes instrumentos fiscales es la siguiente:

- $\tau_3$ : Impuesto por la cantidad de agua agotada (residual),
- $\tau_4$ : Subsidio al uso de agua tratada,
- $\tau_5$ : Impuesto al uso de agua útil de origen superficial (uso consuntivo),

$\tau_6$ : Impuesto al uso de agua útil de origen subterráneo (uso consuntivo).

En relación con  $\tau_{sup_5}$  y  $\tau_{sub_6}$ , recordemos que representan un impuesto sobre la extracción de agua superficial y/o subterránea. Sin embargo, no tenemos valores observados directamente de dichas variables, por lo que tienen que calcularse a través de otras variables observables.

Por otra parte, los impuestos al trabajo,  $\tau_j^l$ , capital,  $\tau_j^k$ , y consumo,  $\tau_j^c$ , no son, para fines del modelo, variables que se pretendan calibrar, por tal motivo no se usan para medir el grado de precisión de los resultados del modelo.

La tasa de subsidio para el uso de agua tratada que se presentó en el cuadro 11, se obtuvo después de realizar la captura de las distintas tasas existentes en el país. En la realidad existen subsidios diferenciados en función del agente y la zona geográfica donde se consume el recurso, esto, además de considerar la tasa cero de IVA que está vigente sobre su precio. De tal forma que, el subsidio con el que trabajamos, es el resultado del promedio entre los diferentes subsidios aplicados al uso agrícola en las dos zonas hidrológicas contempladas,<sup>6</sup> ignorando, en principio, el subsidio al consumo existente en las grandes ciudades, como es el caso de la ciudad de México, y al uso industrial.

## 6.2. Efectos en la conservación

El otro aspecto que nos interesa estudiar es el impacto que tienen las distintas políticas fiscales sobre la conservación del agua. De acuerdo con los supuestos sobre el comportamiento de los distintos agentes, se obtuvieron los siguientes resultados.

---

<sup>6</sup> En este sentido es importante recordar que, con base en lo publicado en el DOF el 7/IV/2003 (quinta sección): El Gobierno Federal, a través de la CNA, podrá otorgar subsidios para los diversos componentes de los programas hidroagrícolas, cuya aplicación se hará con el mismo porcentaje de participación para todos los productores de los diferentes estados, en el marco de la Alianza para el Campo, de acuerdo con los siguientes criterios y prelación: mayor nivel de marginalidad de los beneficiarios, mayor número de productores beneficiados y mayor número de hectáreas beneficiadas. Los gobiernos de los estados podrán con sus recursos otorgar subsidios diferenciados a los productores para integrar parcial o totalmente la parte que les corresponde aportar a estos.

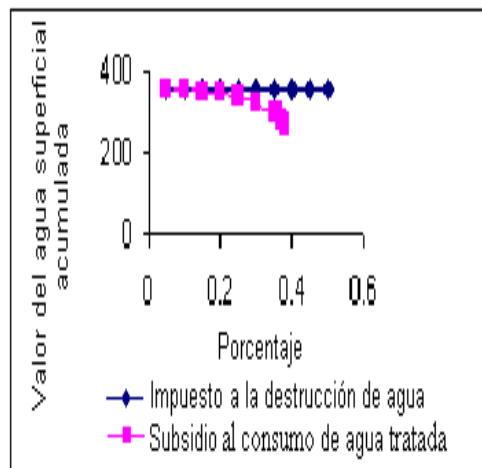


Cuando el recurso es abundante y la propiedad es pública, gravar el uso consuntivo del recurso con fines de conservación resulta ser una política neutral. En tanto que subsidiar el consumo del agua tratada es una política que propicia el desperdicio.

De las gráficas 7 y 8 podemos concluir que: cuando los recursos son de propiedad privada es posible esperar un aumento en los acervos de agua al aplicar un impuesto, en tanto que, cuando se subsidia el uso de agua tratada, sistemáticamente disminuyen los volúmenes de agua almacenada. Es importante destacar, que no se usaron en el modelo relaciones de sustitución entre el agua superficial y subterránea.

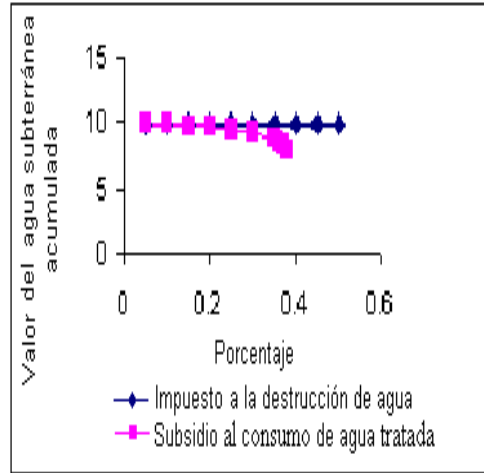
Los casos en los que la política fiscal se aplica a zonas de escasez relativa con propiedad privada y pública se muestran en las gráficas 9 y 10. En donde existe propiedad privada y escasez relativa, la política de subsidio produce una ligera disminución de los acervos del agua. Sin embargo, cuando dicha política se aplica con propiedad pública, la disminución de los acervos es dramática. La aplicación del impuesto es neutral en el caso de la propiedad pública y ligeramente efectiva en el de la propiedad privada.

**Gráfica 5**  
*Efecto en la conservación para el caso de propiedad pública, Grijalva-Usumacinta (agua superficial)*



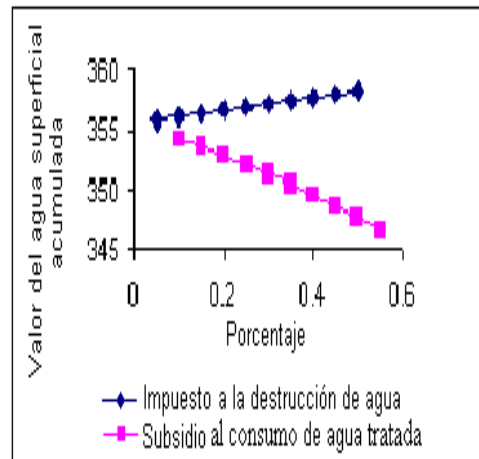
**Gráfica 6**

*Efecto en la conservación para el caso de propiedad pública, Grijalva-Usumacinta (agua subterránea)*



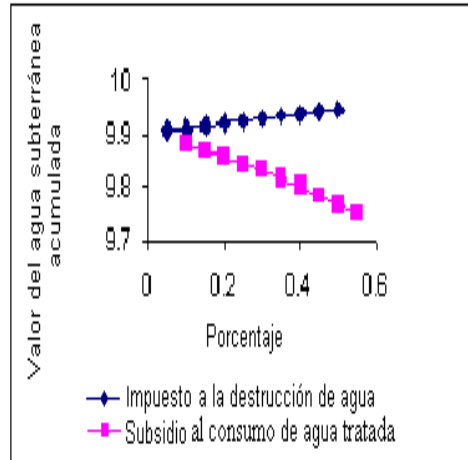
**Gráfica 7**

*Efecto en la conservación para el caso de propiedad privada, Grijalva-Usumacinta (agua superficial)*



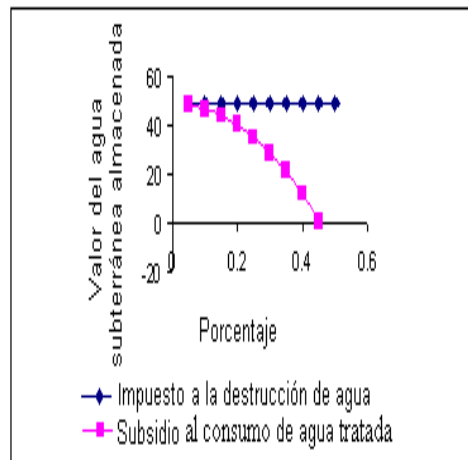
**Gráfica 8**

*Efecto en la conservación para el caso de propiedad privada, Grijalva-Usumacinta (agua subterránea)*

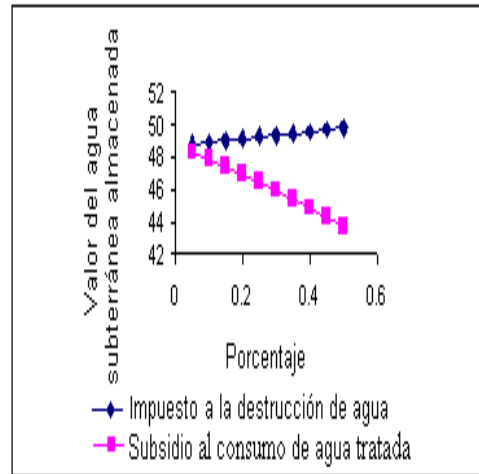


**Gráfica 9**

*Efecto en la conservación para el caso de propiedad pública, Nazas-Aguanaval (agua subterránea)*



**Gráfica 10**  
*Efecto en la conservación para el caso  
 de propiedad privada, Nazas-Aguanaval  
 (agua subterránea)*



## 7. Conclusiones

En México, los elementos que definen los DDP sobre el agua están delineados en la Ley de Aguas Nacionales (LAN). Es el marco regulatorio que el gobierno mexicano ha creado con el fin de que los agentes económicos puedan hacer uso del agua, recurso que se considera propiedad de la nación.

Bajo el supuesto de que el estado mantenga la obligación de administrar los recursos hidráulicos del país, aun en el caso hipotético de que la propiedad del agua fuera privada, se plantea la aplicación de instrumentos de política fiscal para su manejo. Con este fin, se intentó construir un modelo que permitiera simular y evaluar los efectos de las diferentes políticas fiscales sobre el bienestar social, bajo el supuesto de la existencia de DDP alternativos.

La base de datos que se requiere para correr el modelo se obtuvo a través de una matriz de contabilidad social (SAM), en ella se reflejan los aspectos esenciales del equilibrio de referencia, a partir del cual se calibra el modelo. Por otra parte, dada la información disponible

para el caso mexicano, se incorporaron los ajustes indispensables para tomar en cuenta los elementos de la producción de agua residual. Una limitación importante, que sólo se corrigió parcialmente en la matriz, SAM, es que no incorpora el efecto de externalidades negativas. La razón del por qué esta enmienda es parcial y no total es que, la matriz de contabilidad puede generar inconsistencias entre parámetros de participación de algunos sectores cuando se incluye dicho tipo de externalidades. Se decidió considerar sólo aquellas que no generarán incongruencias.

La determinación de los parámetros del equilibrio de referencia no fue arbitraria, sino que responde al comportamiento optimizador de cada uno de los agentes económicos que intervienen en el modelo. A excepción de los parámetros relacionados con la elasticidad de sustitución, los otros parámetros se determinan con la información de la matriz SAM para cada región hidrológica (Grijalva-Usumacinta y Nazas-Aguanaval). Vale la pena mencionar que la formas de obtención del agua, al igual que las formas de consumo y ahorro son muy heterogéneas, el modelo propuesto ha simplificado estas posibilidades con el fin de obtener resultados analíticamente tratables.

Es necesario precisar que los valores observados de las variables fiscales presentados en el cuadro 11 fueron calculados con base en la Ley de Derechos y la Ley de Aguas Nacionales de nuestro país, pero hay que hacer algunas aclaraciones al respecto: 1) ya que existen múltiples tasas impositivas y subsidios sobre el uso del recurso dependiendo de la zona hidrológica y del sector al que benefician, nosotros decidimos trabajar con un promedio que ponderará más las zonas hidrológicas elegidas (Grijalva-Usumacinta y Nazas-Aguanaval) y a los sectores industrial y agrario y 2) los valores calculados a través de los procedimientos que marca la ley, no necesariamente coinciden con las tarifas percibidas por los agentes en la realidad, ya que existe un rezago entre lo dictado por ella y lo que realmente es contabilizado en las cuentas públicas de los diferentes niveles de gobierno (municipal, estatal y federal). Un ejemplo, son los subsidios otorgados al campo, los cuales ascienden a niveles cercanos al 90 por ciento.

Con el propósito de obtener un conjunto de conclusiones de los resultados obtenidos, se hace necesario considerar las hipótesis originales del trabajo, mismas que están comprendidas en los cuadros A.1 y A.2 del anexo A. Los cuadros A.3 y A.4 muestran los efectos de la política fiscal (impuestos y subsidios) en el bienestar económico de los consumidores, bajo diferentes situaciones de abundancia, escasez y DDP.

**Bibliografía**

- Aguilera Klink, F. (1994). Pigou and Coase Reconsidered, *Land Economics*, 70(3), 386-390.
- (1992). El fin de la tragedia de los comunes, *Ecología Política*, Madrid, enero, 137-145.
- Darwish, R., D. Ethridge y E. Segarra (1995). *Land Application of Municipal Wastewater: An Enviro-Economic Analysis*, Texas Tech University (mimeo).
- Ethridge, D. E. (1973). The Inclusion of Wastes in the Theory of the Firm, *Journal of Political Economy*, 81(6), 1430-1441.
- Ginsburgh, V. y M. Keyzer (1997). *The Structure of Applied General Equilibrium Models*, The MIT Press, Cambridge.
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons, *Science*, 162, 1243.
- Maass, A. y R. Anderson (1986). ... and the Desert Shall Rejoice. *Conflict, Growth, and Justice in Arid Environments*, Robert E. Krieger Publishing Company, Inc., Florida.
- Malouf, J., J. Berg y P. Johnson (2000). *Optimal Peak Shaving Capacity and Control for a Known Load Curve: Application to Irrigated Agriculture*, Proceedings of the 2000 American Control Conference, Chicago, 2897-2901.
- Mas-Colell, A., M. Whinston y J. Green (1995). *Microeconomic Theory*, Oxford University Press.
- Ostrom, E. (1992). *Crafting Institutions for Self-Governing Irrigation Systems*, Institute for Contemporary Studies, CA (mimeo).
- (1990). *Governing the Commons. The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge University Press.
- Scarf, H. (1973). *The Computation of Economic Equilibria*, Yale University Press, New Haven.
- Shoven, T. (1995). *Applying General Equilibrium*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Stoecker, A. L., A. Seidmann y G. S. Lloyd (1985). A Linear Dynamic Programming Approach to Irrigation System Management with Depleting Groundwater, *Management Science*, 31, 422-434.
- Ulibarri, C. A., D. Willis y H. Seeley (1998). Farm Profitability and BUREC Water Subsidies: A Regional Linear Programming Analysis, *Contemporary Economics Policy*, 16, 442-451.
- Varian, H. (1992). *Microeconomic Analysis*, W. W. Norton Company.
- Weizman, M. (1994). Free Access vs Private Ownership as Alternative Systems for Managing Common Property, *Journal of Economic Theory*, 8, 225-234.
- Young, R., J. Daubert y H. Morel-Seytoux (1986). Evaluating Institutional Alternatives for Managing an Interrelated Stream-Aquifer System, *American Journal of Agricultural Economics*, noviembre, 787-797.

Apéndice A

**Cuadro A.1**

<i>Eficiencia de la política fiscal en el bienestar social</i>		
<i>Instrumento: impuesto al uso consuntivo</i>		
<i>Tipo de propiedad</i>	<i>Abundancia relativa</i>	<i>Escasez relativa</i>
Privada	Efectiva(--) (cuadro 3)	Efectiva(+) (cuadro 7)
Pública	Neutral (cuadro 5)	Neutral (cuadro 9)

**Cuadro A.2**

<i>Eficiencia de la política fiscal en el bienestar social</i>		
<i>Instrumento: subsidio al consumo de agua tratada</i>		
<i>Tipo de propiedad</i>	<i>Abundancia relativa</i>	<i>Escasez relativa</i>
Privada	Efectiva(-) (cuadro 4)	Efectiva(+) (cuadro 8)
Pública	Efectiva(+) (cuadro 6)	Efectiva(+) (cuadro 10)

**Cuadro A.3**

<i>Eficiencia de la política fiscal en el ahorro del agua</i>		
<i>Instrumento: impuesto al uso consuntivo</i>		
<i>Tipo de propiedad</i>	<i>Abundancia relativa</i>	<i>Escasez relativa</i>
Privada	Efectiva(+) (gráfs. 7 y 8)	Efectiva(+) (gráf. 10)
Pública	Neutral (gráfs. 5 y 6)	Neutral (gráf. 9)

**Cuadro A.4**

<i>Eficiencia de la política fiscal en el ahorro del agua</i>		
<i>Instrumento: subsidio al consumo de agua tratada</i>		
<i>Tipo de propiedad</i>	<i>Abundancia relativa</i>	<i>Escasez relativa</i>
Privada	Efectiva(-) (gráfs. 7 y 8)	Efectiva(-) (gráf. 10)
Pública	Efectiva(-) (gráfs. 5 y 6)	Efectiva(--) (gráf. 9)

Es importante destacar que las siguientes conclusiones son aplicables sólo al caso mexicano, en particular, a dos micro regiones con características específicas: Grijalva-Usumacinta y Nazas-Aguanaval.

- (i) Si se aplica un impuesto al uso consuntivo, los niveles de bienestar no se ven afectados en condiciones de propiedad y de abundancia relativa diferentes, salvo en el caso de que exista abundancia y propiedad privada.
- (ii) Si se aplica un subsidio al consumo de agua tratada, tanto la propiedad como la abundancia relativa tienen efectos en el bienestar. Cuando la propiedad del agua es privada el subsidio tiene efectos contrarios, según la abundancia relativa del recurso, mientras que cuando la propiedad es pública el efecto es positivo con un mayor impacto en el caso de zonas de abundancia relativa.

En relación con el efecto en la conservación del agua, los resultados son muy diferentes (cuadros A.3 y A.4).

- (i) Gravar el uso consuntivo es efectivo cuando la propiedad del agua es privada, sin importar la abundancia o escasez relativa, y neutral cuando el agua es propiedad pública.
- (ii) Subsidiar el consumo de agua tratada es negativo cuando la propiedad es privada, independientemente de la abundancia relativa del recurso, y es una mala política de conservación cuando es propiedad pública. El peor de los casos ocurre cuando dicha política se aplica a zonas de escasez relativa.

Al resumir los resultados anteriores podemos decir que, en términos de bienestar social, el subsidio al consumo del agua tratada cuando su propiedad es pública resulta la mejor política, mientras que gravar el uso consuntivo es neutral. Para el caso de propiedad privada los resultados son ambiguos, dependiendo de la abundancia del recurso (cuadro A.1 y A.2).

Ahora bien, con respecto a la conservación, la mejor política se logra cuando tenemos propiedad privada y se grava el uso consuntivo, al margen de la abundancia o escasez relativa del agua. Subsidiar el consumo del agua tratada cuando es propiedad privada puede llevar al agotamiento del recurso (cuadros A.3 y A.4).

En lo fundamental, las diferencias observadas en los cuadros A.3 y A.4 se pueden explicar en términos de la redistribución del ingreso y de su impacto en el bienestar económico. En un escenario donde la propiedad del recurso es privada, los ingresos recaudados por el



gobierno se transfieren directamente a los consumidores, aun cuando el monto de dichas transferencias disminuya como consecuencia de la aplicación de subsidios; en tanto que, bajo un régimen público, no resulta muy claro que se produzca dicha redistribución. Obsérvese también que, un cambio en el ingreso, altera la función de utilidad indirecta y, por ende, el bienestar económico. Por último, se advierte que una modificación en las transferencias puede cambiar los precios relativos, lo cual impacta de nuevo la utilidad indirecta.

Sin duda, tenemos que reconocer que algunos de los aspectos actuales del modelo tienen limitaciones, que pueden ser mejorados, por ejemplo: 1) incluir funciones de producción y utilidad típicas en el estudio de recursos naturales, aunque esto mejoraría la veracidad del modelo, se sacrifica en cierta medida su simplicidad, 2) considerar tecnologías dependientes del tiempo. Es un hecho que el proceso de descentralización que se ha observado en México en los últimos años en los distritos de riego y, en general, en el sector hidráulico, ha incentivado un cambio tecnológico, el supuesto de que la tecnología en el uso del agua es constante debe relajarse con el fin de obtener resultados más realistas, 3) introducir otras medidas de bienestar. Existen en la literatura económica varios conceptos teóricos dedicados a medir el bienestar, nosotros decidimos trabajar con la variación compensada, debido a que los resultados pueden ser interpretados como cambios en el gasto de los agentes, y no como variaciones en sus demandas. No obstante, el análisis del bienestar a través de los efectos sustitución e ingreso queda pendiente para próximas investigaciones, 4) contemplar una oferta de agua que no sea infinitamente inelástica y, por último, 5) considerar que los diferentes tipos de propiedad pueden tener efectos por el lado de la oferta.

## Apéndice B

Sea la función de producción general de tipo Leontief:

$$Y_j = \text{Min} \left\{ \frac{A_{i,j}}{\alpha_{i,j}}, \frac{V_j}{\nu_j} \right\},$$

donde  $A_{i,j}$  es la cantidad del factor  $i$  necesaria para producir una unidad del bien  $j$ ,  $\alpha_{i,j}$  el requerimiento unitario del factor  $i$  para producir el bien  $j$ ,  $V_j$  el valor añadido del factor  $i$  que se requiere en la producción de una unidad del bien  $j$  y, finalmente,  $\nu_j$  es el requerimiento unitario del valor añadido del factor  $i$  necesario para

producir una unidad del bien  $j$ . Por otra parte, la función que define el valor añadido es una función CES dada por:

$$V_j = \frac{1}{\varphi_j} \left( \sum_i \beta_{i,j} A_{i,j}^{-\rho_j} \right)^{-1/\rho_j}.$$

Para el caso del bien de consumo tipo 1,  $(x_1)$ , el problema de minimización de costos que enfrenta la empresa es el siguiente:

$$\text{Minimizar } p_\ell \ell_1 + p_k k_1 + p_5 x_{5,1} + p_6 x_{6,1} + \tau_3 m(x_{5,1} + x_{6,1}),$$

$$\text{s.a. } Y_1 = f_1(\ell_1, k_1, x_{5,1}, x_{6,1}).$$

Dado que la forma funcional de la función de producción es:

$$Y_1 = \text{Min} \left( \frac{\ell_1}{\alpha_{\ell_1}}, \frac{k_1}{\alpha_{k_1}}, \frac{x_{5,1}}{\alpha_{5,1}}, \frac{x_{6,1}}{\alpha_{6,1}}, \frac{V_1}{\nu_j} \right),$$

y, al considerar además que:

$$V_1 = \frac{1}{\varphi_1} \left( \sum_{i=1}^4 \beta_{i,1} A_{i,1}^{-\rho_1} \right)^{-1/\rho_1},$$

las condiciones de primer orden derivadas del proceso de optimización son:

$$Y_1 = \frac{\ell_1}{\alpha_{\ell_1}} = \frac{k_1}{\alpha_{k_1}} = \frac{x_{5,1}}{\alpha_{5,1}} = \frac{x_{6,1}}{\alpha_{6,1}} = \frac{V_1}{\nu_1}. \quad (\text{B.1})$$

De aquí obtenemos que:

$$\ell_1 = \alpha_{\ell_1} Y_1, \quad (\text{B.2})$$

y si tomamos en cuenta la forma funcional de  $V_j$ :

$$\begin{aligned} Y_1 &= \frac{V_1}{\nu_1} \\ &= \frac{1}{\nu_1 \varphi_1} (\beta_{\ell_1} \ell_1^{-\rho_1} + \beta_{k_1} k_1^{-\rho_1} + \beta_{5,1} x_{5,1}^{-\rho_1} + \beta_{6,1} x_{6,1}^{-\rho_1})^{-1/\rho_1} \end{aligned} \quad (\text{B.3})$$

Si se sustituye (B.3) en (B.2), tenemos que:

$$\ell_1 = \frac{\alpha_{\ell_1}}{\nu_1 \varphi_1} (\beta_{\ell_1} l_1^{-\rho_1} + \beta_{k_1} k_1^{-\rho_1} + \beta_{5,1} x_{5,1}^{-\rho_1} + \beta_{6,1} x_{6,1}^{-\rho_1})^{-1/\rho_1}, \quad (\text{B.4})$$

y, a partir de (B.1):

$$k_1 = \alpha_{k_1} Y_1, \quad x_{5,1} = \alpha_{5,1} Y_1, \quad x_{6,1} = \alpha_{6,1} Y_1,$$

obtenemos la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \ell_1^{-\rho_1} & \left( \left( \frac{\nu_1 \varphi_1}{\alpha_{\ell_1}} \right)^{-\rho_1} - \beta_{\ell_1} \right) \\ & = \beta_{k_1} (\alpha_{k_1} Y_1)^{-\rho_1} + \beta_{5,1} (\alpha_{5,1} Y_1)^{-\rho_1} + \beta_{6,1} (\alpha_{6,1} Y_1)^{-\rho_1}. \end{aligned}$$

De esta forma, la demanda condicionada del factor trabajo para la producción del bien de consumo de tipo 1 es igual a

$$\ell_1^* = Y_1 \left( \frac{(\nu_1 \varphi_1 / \alpha_{\ell_1})^{-\rho_1} - \beta_{\ell_1}}{(\beta_{k_1} / \alpha_{k_1}^{\rho_1}) + (\beta_{5,1} / \alpha_{5,1}^{\rho_1}) + (\beta_{6,1} / \alpha_{6,1}^{\rho_1})} \right)^{1/\rho_1}.$$

Dada la simetría en las variables del modelo, se sigue que

$$k_1^* = Y_1 \left( \frac{(\nu_1 \varphi_1 / \alpha_{k_1})^{-\rho_1} - \beta_{k_1}}{(\beta_{l_1} / \alpha_{l_1}^{\rho_1}) + (\beta_{5,1} / \alpha_{5,1}^{\rho_1}) + (\beta_{6,1} / \alpha_{6,1}^{\rho_1})} \right)^{1/\rho_1},$$

$$x_{5,1}^* = Y_1 \left( \frac{(\nu_1 \varphi_1 / \alpha_{5,1})^{-\rho_1} - \beta_{5,1}}{(\beta_{l_1} / \alpha_{l_1}^{\rho_1}) + (\beta_{k_1} / \alpha_{k_1}^{\rho_1}) + (\beta_{6,1} / \alpha_{6,1}^{\rho_1})} \right)^{1/\rho_1}$$

y

$$x_{6,1}^* = Y_1 \left( \frac{(\nu_1 \varphi_1 / \alpha_{6,1})^{-\rho_1} - \beta_{6,1}}{(\beta_{l_1} / \alpha_{l_1}^{\rho_1}) + (\beta_{k_1} / \alpha_{k_1}^{\rho_1}) + (\beta_{5,1} / \alpha_{5,1}^{\rho_1})} \right)^{1/\rho_1}.$$

De igual manera, podemos resolver el problema de minimización de costos que enfrenta la empresa que produce el bien de consumo tipo 2 ( $x_2$ ), el agua tratada ( $x_4$ ), el agua útil de origen superficial ( $x_5$ ) y el agua útil de origen subterráneo ( $x_6$ ).